

肥満症例の水中歩行時の生理学的反応の検討

宮本忠吉¹・藤本繁夫²・櫛淵由香理¹・渡辺一志²・宮側敏明²
栗原直嗣²・前田如矢²

Influence of physiological response on treadmill walking in water in obese subjects

Tadayoshi Miyamoto, Shigeo Fujimoto, Yukari Kushibuchi,
Hitoshi Watanabe, Toshiaki Miyagawa, Naotugu Kurihara
Kazuya Maeda

(平成5年11月30日受付)

はじめに

近年、水中運動が健康、体力の維持増進の手段として利用されつつある。水中運動の特徴は浮力作用により腰や下肢関節にかかる体重負荷の影響を軽減できること、水の抵抗を利用することにより安全に、しかも強い負荷量をかけることが可能で、心肺機能の向上だけでなく筋力面の強化も図れること、水温を調節することで筋リラクゼーション等の温熱効果が期待できることなどがある。とりわけ、水中歩行運動は特別な技術を必要とせず、泳げない人でも安全に十分な強度で負荷をかけることができる。したがって、健常人だけでなく肥満者の減量や妊娠中の運動、さらに、腰痛症や下肢に障害を有する患者に対するリハビリテーションなどに最適な運動として注目されている。一方、最近では、温水プールや水中トレッドミル等を利用した健常人の水中ランニング運動に関する生理

学的検討が行われつつある^{4,9,10,12,15,17,18,22}。

我々は健常人の水中運動負荷検査を施行し、換気循環反応および自覚症状からみた水中運動の特性、問題点等を検討してきた¹⁵。今回は、肥満症例を対象に、横隔膜水位での水中トレッドミル負荷検査を施行し、同一プロトコルを用いた陸上運動と比較し、肥満者の水中運動時の生理的反応について検討し、若干の考察を加えたので報告する。

対象および方法

対象は19才の男子大学生 H.K (身長174cm, 体重93kg) で、Body Mass Indexは30.7、各部位における皮脂厚値は上腕背部が21mm, 肩甲骨下部46mm, 腹部53mm, 胸部24mm, 腸骨陵上部41mm, 大腿前部33mmであった。また、皮脂厚法^{3,16}より求めた体脂肪率は50.2%の肥満を呈す

大阪市立大学大学院生活科学研究科¹, 大阪市立大学教養部保健体育科², 大阪市立大学医学部第一内科³

Table-1 Physical Characteristics

Subject		Male
Age	(years)	
Height	(cm)	174.0
Weight	(kg)	93.0
Weight in water	(kg)	34.0
	(diaphragm level)	
BMI		30.7
%Fat	(%)	50.2
Skinfold		
Triceps	(mm)	21
Subscapula	(mm)	46
Umbilicus	(mm)	53
Pectoralis	(mm)	24
Suprailiac	(mm)	41
Tigh	(mm)	33

Table-2 Pulmonary functional parameter

VC	(L)	5.17
FVC	(L)	4.90
FEV_{1.0}	(L)	4.34
FEV_{1.0} %	(%)	88.6
TLC	(L)	6.07
FRC	(L)	2.30
RV	(L)	0.91
RV/TLC	(%)	15.0
TV	(L)	0.65
ERV	(L)	1.39
IRV	(L)	3.13
PF	(L/sec)	9.74
\dot{V}_{75}	(L/sec)	8.69
\dot{V}_{50}	(L/sec)	5.95
\dot{V}_{10}	(L/sec)	0.73

る症例であった。

大気下での肺機能検査は、機能的残気量 (FRC) を窒素洗い出し法により、一回換気量 (TV)、肺活量 (VC)、予備吸気量 (IRV)、予備呼気量 (ERV) の各肺気量はスパイロメータを用いて測定し、残気量 (RV) は FRC から ERV を差引き、全肺気量 (TLC) は VC に RV を加算することで求めた。さらに、最大吸気位から最大呼気位まで前屈させることなく、最大呼出させ、努力性呼出曲線から努力肺活量 (FVC)、一秒量 (FEV_{1.0}) および一秒率 (FEV_{1.0}%) を求め、フローボリューム曲線からは最大呼気流量 (PF)、75%肺活量位での呼気流量 (\dot{V}_{75})、50%肺活量位での呼気流量 (\dot{V}_{50})、10%肺活量位での呼気流量 (\dot{V}_{10}) を求めた。

運動負荷は23.1℃の室内でトレッドミルと水槽を組み合わせて作成した水中トレッドミルを使用し、水温34℃の横隔膜水位で約10分間の安静後に初速30m/分から3分毎に20m/分ずつ速度を増す漸増法¹⁵⁾で歩行可能な負荷量まで施行した。陸上での運動負荷は同一プロトコルでトレッドミ

ル歩行を施行した。水中および陸上の運動負荷検査は約60分以上の休息をはさんで施行した。運動時の換気諸量は、センサーメディック社製呼気ガス代謝装置 (MMC-4400tc) を用い breath-by-breath 法により、心拍数はフクダ電子社製テレメータ心電計により連続記録した心電図より測定した。運動中の自覚症状の評価は、呼吸困難感および下肢疲労感をそれぞれ Borg Score²¹⁾ に基づき1分毎に Score を指で示させた。Ventilatory Threshold (以下 VT) の決定は Wasserman らの方法^{11, 10)} に従い、運動負荷量の増加量に比べ換気量が急峻に増す時点、および V-slope 法の折れ曲がり点に基づいた。

結 果

大気下での肺機能検査の成績では、努力肺活量 (() 内は予測値に対する割合を示す) は4.90L (110.4%)、一秒量は4.34L (97.8%)、FRCは2.30L (105.5%)、RVは0.91L (96.1%)、RV/TLCは15.0% (89.8%) といずれの項目もほぼ正常値を示した (Table-2)。

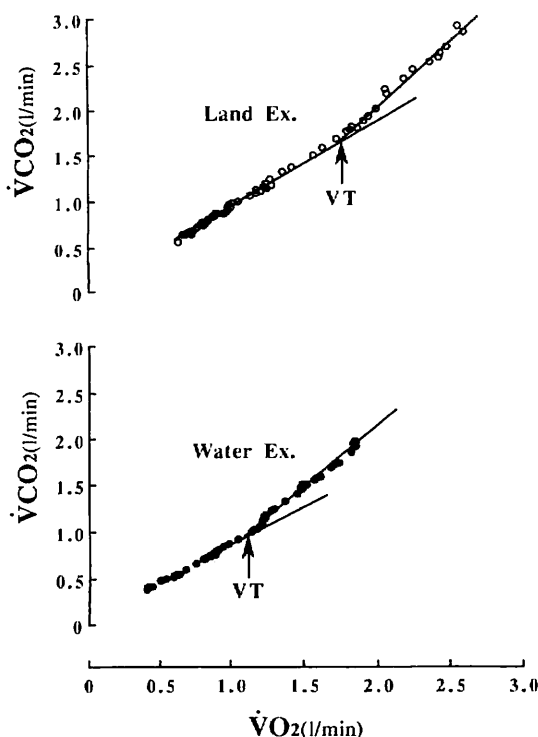


Fig.1 Ventilatory threshold measured by V-slope method in both on land and in water

V-slope 法より求めた VT 時の $\dot{V}O_2$ は、水中歩行時で 1.05L/分、陸上歩行時では 1.59L/分と水中の方が陸上よりも低い値を示した (Fig.1)。

水中および陸上歩行時の負荷量の増加にともなう $\dot{V}O_2$ 、分時換気量の変化は、両負荷法ともに負荷開始後 18 分、130m/分の速度で歩行が維持出来なくなり負荷を中断した。中断時の $\dot{V}O_2$ は、水中で 1.77L/分、陸上歩行では 2.53L/分、分時換気量はそれぞれ 53.1L/分、71.9L/分であった。水中および陸上歩行時の $\dot{V}O_2$ と分時換気量は 90m/分の速度ではほぼ同値を示すものの、すべての負荷段階において水中歩行が常に陸上歩行を下回る傾向を示した。特に VT を越えてからの $\dot{V}O_2$ 、分時換気量の増加の程度は陸上歩行時に顕著であったが、水中歩行時では、その程度はゆるやかであった (Fig.2)。

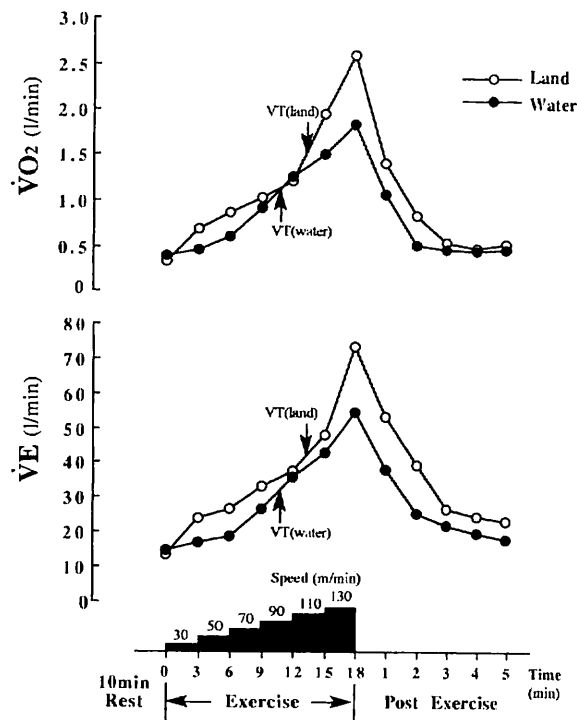


Fig.2 Changes in $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}E$ during graded water treadmill exercise in diaphragm water depth.

負荷量の増加に伴う心拍数と O_2 -pulse の変化について、歩行中断時の心拍数は水中で 151 拍/分、陸上では 170 拍/分、 O_2 -pulse はそれぞれ 11.7ml/拍、14.9ml/拍であった。心拍数および O_2 -pulse の変動も $\dot{V}O_2$ や分時換気量と同様、90m/分の速度ではほぼ同値を示したが、他のいずれの速度でも水中歩行時が常に陸上よりも低値を示す傾向がみられた (Fig.3)。

自覚症状については、呼吸困難感は 90m/分までは水中と陸上で差が認められなかったが、VT を越える速度からは水中歩行の方が陸上歩行を下回り、歩行中断時の 130m/分の負荷量では水中でのスコアは 13、陸上では 17 と明らかに差が認められた。一方、水中歩行時の下肢疲労感は陸上歩行よりも VT 以下の負荷速度で低値を示したが、VT を越えると両歩行時共にほぼ同程度の

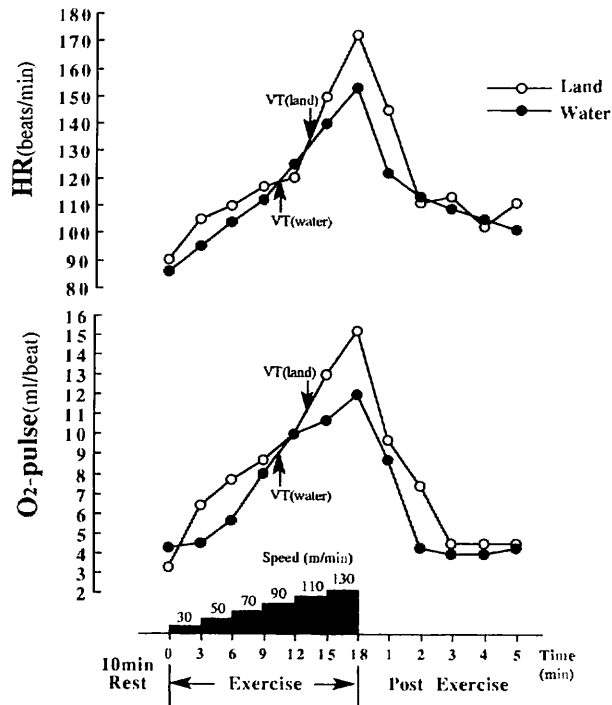


Fig.3 Changes in HR and O₂-pulse during garaded water treadmill exercise in diaphragm water depth.

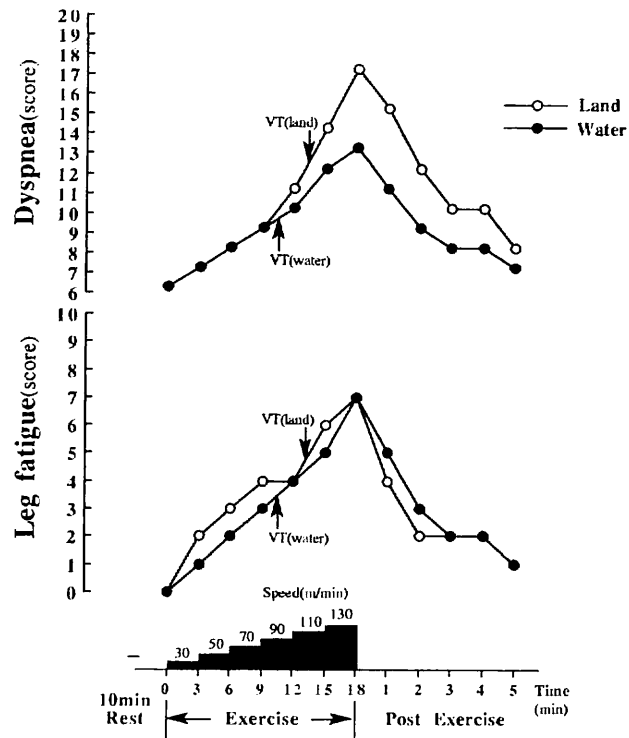


Fig.4 Changes in Dyspnea score and Leg fatigue score during garaded water treadmill exercise in diaphragm water depth.

スコアを示し、歩行中断時の下肢疲労感は水中および陸上ともスコア7と同値を示した (Fig. 4).

考 察

今回、我々は水中歩行運動を行う際の条件として、水位レベルは浮力による体重減少の影響が利用でき、しかも水圧により肺機能への影響が少ない横隔膜水位のレベル^{8, 10}を選んだ。また、水温は酸素輸送系及び代謝系にもっとも影響が少ない34°Cに設定した^{5, 20}。

まず、肥満者の水中歩行と陸上歩行の特徴について考察を行う。

本研究では、肥満者の水中歩行時の $\dot{V}O_2$ 、分時換気量、心拍数および O_2 -pulseは、同一速度の陸上歩行よりも常に低値を示す傾向が認められた。また、負荷の増大に伴う呼吸困難感の上昇の程度は、VT以下では両負荷法で変わらなかったが、VTを越えると水中歩行時により軽くなった。一方、下肢の疲労感は逆にVT以下では水中歩行時に軽いスコアを示し、VT以後では陸上歩行とはほぼ同様のスコアを示した。

肥満者の陸上歩行時では、93kgの体重負荷がかかるため、同一速度での負荷時でも過体重による仕事量が増し酸素コストが増加していること^{11, 20}が示された。特に陸上運動時において、VTを越えてからの換気量の増加は、上半身の肥満により胸郭の運動が制限されるため呼吸のパターンが浅速型になり、死腔換気の割合が増し、換気の効率が悪化するメカニズムが加わるためと考えられる。さらに、肥満者では下肢の運動筋への体重負荷が強く影響するため、嫌氣的解糖に至ってからの乳酸系による H^+ イオンが急増し、これが中枢化学受容体を刺激して換気ドライブを増すことなども考えられる。しかし、水中運動時では、症例の横隔膜水位での水中体重は34kgと顕著に

減少したため、体重負荷の影響がなくなり、換気量の増加の程度が陸上歩行時よりも抑えられたと考えられる。

我々は先行研究において、肥満のない健常人における水中歩行では $\dot{V}O_2$ および分時換気量は50 m/分以下の速度において同一速度の陸上歩行より低値を示し、それ以上の速度では逆に高値を示すことを報告した¹⁵。今回の肥満者の水中歩行時の換気循環反応が、肥満のない対象の動態と異なることは、肥満者では前述したような浮力による体重の影響が強く現れていることによると推測される。

水中歩行時の呼吸困難感は軽い負荷量では陸上と差が認められなかったが、下肢疲労感は陸上歩行よりも常に低値を示した。一方、VT以上の負荷量では、水中歩行時の呼吸困難感は陸上歩行よりも低値を示し、下肢疲労感は変わらない傾向を示した。

水中では、下肢が水圧により陽圧にさらされるため、運動時では下肢への血流が障害される。運動筋の血流障害は早期に筋疲労を誘発し、下肢疲労感の自覚症状を強くすることが考えられる。Eikenら⁵¹は下肢に陽圧負荷をかけて自転車エルゴメータ負荷を施行した場合、早期に疲労困憊に至ったことを報告している。今回の水中歩行時の下肢疲労感は、VT以下の負荷量では下肢筋の水圧による血流障害にも関わらず陸上歩行時よりも軽かった。この理由として、VT以下の軽い負荷量では水圧の影響よりも浮力作用による下肢への体重減少の影響が下肢疲労感の自覚症状に強く現れたと推測される。しかし、VT以上の負荷量では、水圧により下肢筋への血流量が減少する影響が加わることで、水中歩行時の下肢に加わる水の抵抗の影響が歩行速度により大きく影響してくること等のため、陸上歩行時と差がなくなると考えられる。

一方、呼吸困難感には下肢血流減少の影響は少なく、むしろ換気循環系への負荷を反映し、VT以上の負荷量での呼吸困難感が陸上歩行時よりも低値を示したと考えられる。

水中歩行時でのVT時の $\dot{V}O_2$ は1.13L/分、陸上歩行時は1.64L/分を示し、水中の方が陸上よりも低い値を示した。水中運動時にVTが早期に出現した理由として、水中運動時には下肢への水圧の影響で運動筋である下肢筋肉への血流が減少するため、活動筋肉内への酸素輸送および代謝産物の除去が制限され、陸上よりも早期に嫌気性代謝へ移行する可能性が考えられる。Eikenら⁶⁾は下肢に50mmHgの陽圧負荷をかけ、仰臥位で自転車エルゴメータ運動を施行し、軽い負荷段階で血中乳酸濃度の上昇を認め換気反応も強く現れたことを報告している。また、井上ら¹³⁾の報告ではHead-downにより下肢血液分布を減少させ下肢運動を行わせた結果、血中乳酸濃度が安静値に比べ有意に増加する負荷強度がHead-up運動時には29% $\dot{V}O_{2max}$ であったのが、Head-down運動では25% $\dot{V}O_{2max}$ であった。しかも運動中の乳酸濃度はHead-down姿勢の方が高い傾向にあったことを認めている。以上の成績は、活動筋における血液分布および血流量の減少が早期血中乳酸濃度の上昇を引き起こす大きな要因となる可能性を示唆するものと考えられる。また、その他の理由として、水中運動では主に動員される筋の部位や筋繊維のタイプが異なること、筋収縮時間が異なる等の影響も考えられ、今後検討する必要があると考えられる。

ま と め

1. 肥満を呈する男子大学生1名を対象に、横隔膜水位での水中トレッドミル負荷検査を施行し、水中運動時の生理反応の特徴を検討した。

2. 水中歩行時の $\dot{V}O_2$ 、分時換気量、心拍数および O_2 -pulseの換気循環諸量は、同一速度の陸上歩行時に対して常に低値を示す傾向が認められた。

3. 水中歩行時の呼吸困難感は、VT以下の負荷量では陸上と差が認められなかったが、下肢疲労感は陸上歩行よりも常に低値を示した。一方、VT以上の負荷量では、水中歩行時の呼吸困難感は陸上歩行よりも低値を示し、下肢疲労感には差を生じない傾向を示した。

4. 水中歩行時でのVT時の $\dot{V}O_2$ は1.13L/分、陸上歩行時には1.64L/分を示し、水中の方が陸上よりも低い値を示した。

以上の結果より、水中での歩行運動は、水の抵抗や浮力の影響を受け、陸上とは異なる換気・循環反応および自覚症状を示すと考えられる。また、水中では水圧により下肢筋への血流量の分布が減少すること、主に動員される筋の部位や筋収縮時間が異なる等の理由により、VTが早期に出現することが示唆された。

文 献

- 1) Beaver, W. L., Wasserman, K., and Whipp, B. J.: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*, 60: 2020-2027, 1986.
- 2) Borg, G.: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exercise*, 14:377, 1982.
- 3) Brozek, J., Grande, F., Andersen, J. T., and Keys, A.: Desitometric analysis of body composition: Review of some quantitative assumption. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110:113-140, 1963.
- 4) Butts, N. K., Tucker, M., and Smith, Robert.: Maximal responses to treadmill and deep water running in high school female cross country runners. *R. Q. E. S.*, 62:236-239, 1991.

- 5) Choukroun, M. L. and Varene, P.: Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *J. Appl. Physiol.*, 68:1475-1480, 1990.
- 6) Eiken, O., and Bjurstedt, H.: Dynamic exercise in man as influence by experimental restriction of blood flow in the working muscles. *Acta. Physiol. Scand.*, 131:339-345, 1987.
- 7) Farhi, L. E., and Linnarsson, D.: Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35°C. *Respir. Physiol.*, 30:35-50, 1977.
- 8) 藤本繁夫, 宮本忠吉, 栗原直嗣, 金尾顕郎, 辻英次, 前田如矢: 健康者における水圧の肺機能に及ぼす影響. 関西臨床スポーツ医・科学研究会報告書, 55-57, 1992.
- 9) Gleim G. W., and Nicholas, J. A.: Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *Am. J. Sports Med.*, 17:248-252, 1989.
- 10) Green, J. H., Cable, N. T., Elms, N.: Heart rate and oxygen consumption during walking on land and in deep water. *J. Sports, Med. Phys. Fitness*, 30:49-52, 1990.
- 11) Hansen, J. E., Sue, D. Y., and Wasserman, K.: Predicted values for clinical exercise testing. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 129:S49-S55, 1984.
- 12) 林石松, 折笠敏, 伊藤朗: 水中ランニング運動が腎臓機能に及ぼす影響. *体力科学*, 40:48-59, 1991.
- 13) 井上尚武, 田畑泉, 大平充宣: 体位変換による下肢血液分布の変化が自転車エルゴメータ運動能力および血中白血球動態に及ぼす影響. *宇宙航空環境医学*, 28:27-37, 1991.
- 14) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原直嗣, 金尾顕郎, 辻英次, 前田如矢: 健康者における頸椎水位と横隔膜水位の動的および静的肺機能に及ぼす影響. *体力科学投稿中*, 1993.
- 15) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原尚嗣, 渡辺一志, 宮側敏明, 前田如矢: 水中トレッドミルによる歩行運動時の換気反応の検討. 関西臨床スポーツ医・科学研究会報告書, 113-116, 1993.
- 16) Nagamine, S., and Suzuki, S.: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, 36: 8-15, 1964.
- 17) Ritchie, S. E., and Hopkins, W. G.: The intensity of exercise in deep-water running. *Int. J. Sports Med.*, 12:27-29, 1991.
- 18) Svedenhag, J., and Seger, J.: Running on land and in water: comparative exercise physiology. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24:1155-1160, 1992.
- 19) Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., and Beaver, W. L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35:236-243, 1973.
- 20) Wasserman, K., and Whipp, B. J.: Exercise physiology in health and disease. 112:219-249, 1975.
- 21) Weston, C. F., O'Hare, J. P., Evans, J. M. and Corral, R. J. M.: Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. *Clin. Sci.*, 73:613-616, 1987.
- 22) Yamaji, K., Greenley, M., Northey, D. R., and Hughson, R. L.: Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running. *Can. J. Sport Sci.*, 15:96-98, 1990.
- 23) Yoshida, T., Udo, M., Chida, M., Makiguchi, K., Ichioka, M., and Muraoka, I.: Arterial blood gases, acid-base balance, and lactate and gas exchange variables during hypoxic exercise. *Int. J. Sports Med.*, 10:279-285, 1989.